

PENENTUAN PETA KURVA RESIDU SISTEM TERNERASETON-BUTANOL-ETHANOL DENGAN SIMULASI DAN EKSPERIMENTAL

Ni Ketut Sari¹, Ketut Sumada¹,

Kuswandi², Nonot Suwarno², Renanto Handogo²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya Rungkut Madya Gunung Anyar Surabaya 60244

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia

Email: sari_ketut@yahoo.com

Abstract: The simulation results ternary system Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) in the form of the temperature profile, liquid and vapor composition profiles at the bottom used as reference in experiments ABE ternary system, with comparisons between simulation and experimental results ABE ternary system will know how far the deviations obtained and research cost savings

For the separation of the ABE ternary system in a simulation study conducted prior to study experimentally, that the determination of the study variables can be more effective and less expensive research costs. ABE ternary system simulation in batch distillation using rigorous methods, DAEs models and language Matlab. The results of simulation ABE ternary system comparison using Ethanol-Methanol-Propanol (MEP) ternary system which form the homologous series. The use MEP ternary systems in comparison ABE ternary system, as predicted MEP ternary system mixture to form a mixture zeotropic. The simulation results of the temperature profile, the liquid and vapor composition and vapor composition profiles function dimensionless time (x) both at the bottom and in the distillate. After the experiment ABE ternary system was conducted with an operating pressure of one atmosphere, ABE mixture volume 350 ml, ABE feed composition: 0.8, 0.1, 0.1 (mole fraction) $\xi = 0, 1, 2, 3$.

The simulation results ABE ternary system comparison with MEP ternary system close to the same results and showed a mixture zeotropic. Simulation and experimental results of temperature profile, the profile liquid and vapor composition and vapor composition profile function of dimensionless time in both the bottom and in the distillate showed the same approach. Thus simulating the ABE ternary system with after comparison MEP ternary system can be used as a reference within the ABE ternary system experiments.

Keywords: dimensionless time, batch distillation, experimental, simulation, zeotropic.

Abstrak: Hasil simulasi sistem terner Aseton-Butanol-Ethanol (ABE) dalam bentuk profil temperatur, profil komposisi likuida dan uap di bottom dipergunakan sebagai acuan dalam eksperimen sistem terner ABE, dengan komparasi antara hasil simulasi dan eksperimen sistem terner ABE akan diketahui seberapa jauh penyimpangan yang diperoleh serta penghematan biaya penelitian

Untuk pemisahan sistem terner ABE dilakukan penelitian secara simulasi sebelum dilakukan penelitian secara eksperimen, supaya dalam penentuan variabel penelitian bisa lebih terarah dan biaya penelitian lebih murah. Simulasi sistem terner ABE secara distilasi batch menggunakan metoda rigorous, model DAEs dan bahasa Matlab. Hasil dari simulasi sistem terner ABE kemudian dikomparasi menggunakan sistem terner Metanol-Ethanol-Propanol (MEP) yang membentuk deret homolog. Penggunaan sistem terner MEP dalam komparasi sistem terner ABE, karena diprediksi campuran sistem terner MEP membentuk campuran zeotropik. Hasil simulasi berupa profil temperatur, profil komposisi likuida dan profil komposisi uap fungsi dimensionless time (x) baik di bottom maupun di distilat. Setelah itu dilakukan eksperimen sistem terner ABE dengan tekanan operasi 1 atmosfer, volume campuran ABE 350 ml, komposisi umpan ABE: 0.8; 0.1; 0.1 (fraksi mol), $\xi = 0, 1, 2, 3$.

Hasil simulasi sistem terner ABE dikomparasi dengan sistem terner MEP mendekati hasil yang sama dan menunjukkan campuran zeotropik. Hasil simulasi dan eksperimen berupa profil temperatur, profil komposisi likuida dan profil komposisi uap fungsi dimensionless time baik di bottom maupun di distilat menunjukkan hasil mendekati sama. Sehingga simulasi sistem terner ABE setelah dikomparasi dengan sistem terner MEP bisa dipakai acuan dalam eksperimen sistem terner ABE.

Kata kunci: dimensionless time, distilasi batch, eksperimental, simulasi, zeotropik.

PENDAHULUAN

Dalam industri kimia, proses fermentasi adalah salah satu cara untuk mendapatkan senyawa kimia dengan bantuan mikroorganisme, selanjutnya

produk fermentasi masuk pada tahap pemisahan. Pada tahap ini sangat penting untuk menghasilkan produk dengan kemurnian tertentu, salah satu peralatan yang umum digunakan pada proses

pemisahan adalah kolom distilasi batch. Proses pemisahan dalam industri umumnya pemisahan multikomponen dan jarang pemisahan biner, oleh karena itu sangat penting untuk meninjau distilasi batch multikomponen. Desain distilasi batch multikomponen umumnya diperoleh dengan melakukan simulasi, agar diperoleh hasil simulasi yang mendekati dengan keadaan sebenarnya maka dibutuhkan data termodinamika yang akurat.

Dalam proses pemisahan, data termodinamika yang paling dominan berpengaruh pada kinerja proses adalah kesetimbangan fase. Salah satu korelasi termodinamika moderen dalam mempersentasikan kelakuan campuran tidak ideal adalah persamaan UNIQUAC, perkiraan kesetimbangan sistem terner dan kuaterner dapat dilakukan hanya berdasarkan data percobaan sistem biner. Model-model aktifitas koefisien dengan persamaan UNIQUAC dikembangkan dari campuran biner, dan mempunyai keuntungan untuk aplikasi pada campuran sistem multi komponen karena hanya membutuhkan parameter biner (tidak membutuhkan parameter tambahan). Tetapi kerugian model tersebut tidak selalu berhasil dalam memperkirakan kesetimbangan sistem multi komponen yang menunjukkan campuran yang sangat tidak ideal lebih-lebih untuk campuran yang mempunyai pasangan dengan kelarutan terbatas seperti butanol-air. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan pengukuran data kesetimbangan sistem biner secara akurat dan model estimasi parameter-parameter dari model koefisien aktifitas sehingga parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan kesetimbangan uap-cair sistem multi komponen secara akurat. Hal ini sudah diteliti oleh Renanto Handogo dan Gede Wibawa (1997).

Dari hasil simulasi sistem terner yang diperoleh, untuk melihat profil pergerakan komposisi likuida di *bottom* maka digambar dalam bentuk peta kurva residu. Dari peta kurva di residu sistem terner tersebut bisa diketahui apakah suatu campuran terner tersebut membentuk campuran zeotropik atau azeotropik. Dari campuran azeotropik dibedakan menjadi campuran azeotropik homogen dan campuran azeotropik heterogen. Untuk campuran azeotropik homogen setelah dilakukan pemisahan maka hasil yang diperoleh membentuk

satu fase dan titik azeotropnya tidak terletak pada *Liquid-Liquid-Equilibrium* (LLE), sedangkan untuk campuran azeotropik heterogen setelah dilakukan pemisahan hasil yang diperoleh membentuk lebih dari satu fase dan titik azeotropnya berada pada LLE. Kemudian dikembangkan lebih jauh untuk sistem multi komponen, yaitu dalam bentuk peta kurva residu campuran azeotropik homogen dan heterogen, profil pergerakan komposisi likuida di residu apakah membentuk campuran zeotropik atau azeotropik. Sistem terner lainnya yang membentuk campuran azeotropik heterogen seperti etanol-air-benzene (Henley dan Seader 1998), etanol-air-toluene (Henley dan Seader 1998). Sistem terner lain seperti nitrogen-argon-oksigen membentuk campuran tanpa azeotropik atau zeotropik, octane-2 ethoxy etanol-ethyl benzene membentuk sistem biner azeotropik, aseton-chloroform-methanol membentuk sistem biner dan terner azeotropik (Widagdo dan Seider 1996). Dari hasil penelitian terdahulu, belum ada yang membuat peta kurva residu bagi campuran terner ABE.

Dari peta kurva residu yang diperoleh kemudian dilakukan validasi, yaitu validasi secara hubungan topologi. Untuk validasi secara hubungan topologi menggunakan persamaan yang sudah ada pada literatur (Henley dan Seader 1998). Untuk mengetahui apakah listing program simulasi sistem terner sudah berlaku secara umum, maka dilakukan validasi berdasarkan data dari literatur. Banyak sistem terner yang sudah ada pada literatur atau jurnal yang bisa dipakai untuk validasi sistem terner ABE, salah satu sistem terner yang digunakan adalah sistem terner yang membentuk campuran zeotropik yaitu MEP.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada tekanan rendah, fase uap mendekati gas ideal sehingga kesetimbangan uap liquid tekanan rendah menjadi:

$$y_i = \frac{y_i^s \cdot P}{x_i \cdot p_i^{\text{sat}}} \quad (1)$$

Persamaan (1) ini dikenal juga sebagai persamaan *Raoult* yang dimodifikasi. Konstanta kesetimbangan antara fase uap dan fase liquid didefinisikan sebagai berikut:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{y_i \cdot P_i^{\text{sat}}}{P} \quad (2)$$

Prosedur iterasi untuk mencari temperatur bubble yaitu mencari harga temperatur jenuh dari komponen murni T_i^{sat} pada P (Prausnitz dkk., 2001).

$$T_i^{\text{sat}} = \frac{B_i}{A_i \cdot \log P} - C_i \quad (3)$$

dimana A, B, C adalah konstanta Antoine untuk spesies i , untuk semua estimasi awal.

$$T = \sum_i x_i T_i^{\text{sat}} \quad (4)$$

Untuk $i=1, 2, 3$.

Harga T sebagai harga awal akan digunakan untuk mengetahui tekanan uap jenuh suatu zat yang akan distilasi dengan persamaan Antoine. Sedangkan harga T baru dicari menurut persamaan

$$T = \frac{B_j}{A_j \cdot \log P_j^{\text{sat}}} - C_j \quad (5)$$

Kemudian mencari kesalahan antara T baru dengan T awal dengan Persamaan (6)

$$\left| \frac{(T_{\text{baru}} - T_{\text{awal}})}{T_{\text{baru}}} \right| \leq e \quad (6)$$

Koefisien aktifitas γ_i diperoleh dari :

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad (7)$$

$$\ln \gamma_i^C = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\phi_i}{\phi_i^s} + \ell_i - \frac{\phi_i}{x_i} \sum_{j=1}^m x_j \ell_{ij} \quad (8)$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left[1 - \ln \left(\sum_{j=1}^m \theta_j \tau_{ji} \right) - \frac{\sum_{j=1}^m \theta_j \tau_{ij}}{\sum_{k=1}^m \theta_k \tau_{kj}} \right] \quad (9)$$

$$\ell_i = \frac{z}{2} (\tau_i - q_i) - (\tau_i - 1) \quad (10)$$

dimana nomor koordinasi z diset sama dengan 10.

$$\phi_i = \frac{x_i \cdot r_i}{\sum_{j=1}^m x_j \cdot r_j} \quad (11)$$

$$\theta_i = \frac{q_i x_i}{\sum_{j=1}^m q_j x_j} \quad (12)$$

Parameter r, q adalah konstanta struktur molekul komponen murni berdasarkan ukuran molekul dan luasan permukaan luar.

Untuk tiap kombinasi biner dalam campuran multi komponen, ada dua parameter yang bisa disesuaikan yaitu r, q :

$$\tau_{ji} = \exp \left(\frac{u_{ji} - u_{ii}}{RT} \right) \quad (13)$$

$$t_{ji} = t_{ii} = 1$$

Model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk distilasi batch sistem terner, dengan asumsi tidak membentuk dua phase liquidaleoh Doherty dan Perkins (1978) sebagai berikut:

$$d\xi = \frac{-dx_i}{(x_i - y_i)} \quad (14)$$

$$\xi = \ln \left(\frac{W_u}{W} \right) \quad (15)$$

Dengan *forward-finite-difference*, Persamaan (15) menjadi :

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) Dx \quad (16)$$

Dimana komposisi liquidula mula-mula di *bottom* ($x_{i,j}$) dan Dx ditentukan, sedangkan komposisi uap ($y_{i,j}$) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T (Prausnitz, 2001).

METODOLOGI PENELITIAN

Sistem yang dipelajari untuk simulasi adalah sistem terner ABEdengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk menghitung tekanan uap jenuhdigunakan persamaan Antoine, data parameter Antoine ditunjukkan pada Tabel 2. (Prausnitz, 2001), dimana suhu (T) dalam satuan K dan tekanan uap jenuh (P^{sat}) dalam satuan Bar. Untuk menghitung koefisien aktifitas (γ) menggunakan persamaan UNIQUAC, dimana harga parameter interaksi biner UNIQUAC (u_{ij}), data volume molekuler (r) dan luas permukaan molekuler (q) ditunjukkan pada Tabel 3, asumsi harga $z = 10$.

Tabel 1. Komposisi umpan ABE

Run	Komposisi Umpan (fraksi mol)		
	Aseton	Butanol	Ethanol
1	0,8	0,1	0,1
2	0,7	0,2	0,1
3	0,7	0,1	0,2
4	0,6	0,3	0,1
5	0,6	0,1	0,3
6	0,5	0,1	0,4
7	0,4	0,1	0,5

Tabel 2. Parameter Antoine ABE

Komponen	Parameter Antoine		
	A	B	C
Aseton	4.2184	4.6493	5.3365
Butanol	197.01	1395.14	1648.22
Ethanol	228.06	182.739	230.918

Sumber: Prausnitz, 2001

Tabel 3. Parameter UNIQUAC sistem terner ABE

Komponen	r	q
Aseton	2.5735	2.3359
Butanol	3.4542	3.052
Ethanol	2.1054	1.972

Sumber: Prausnitz, 2001

Dimana : Aseton (1), Butanol (2), Ethanol (3)
 $u_{11} = 0$; $u_{12} = -198,659$; $u_{13} = 98,75291$
 $u_{21} = 453,669$; $u_{22} = 0$; $u_{23} = -32,707$
 $u_{31} = 94,242$; $u_{32} = 75,355$; $u_{33} = 0$

Tabel 4. Komposisi umpan MEP

Run	Komposisi Umpan (fraksi mol)		
	Metanol	Ethanol	Propanol
1	0.80	0.10	0.10
2	0.90	0.02	0.08
3	0.70	0.20	0.10
4	0.30	0.60	0.10
5	0.39	0.60	0.01
6	0.50	0.40	0.10

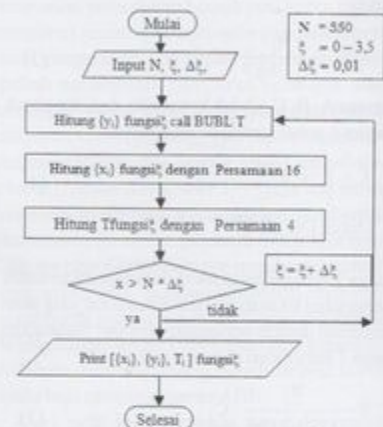
Sumber: Henley dan Seader, 1998

Untuk validasi hasil simulasi sistem terner ABE menggunakan sistem terner MEP, dengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 4. Untuk menghitung tekanan uap jenuh digunakan persamaan Antoine, data parameter Antoine ditunjukkan pada Tabel 5. (Prausnitz, 2001), dimana suhu (T) dalam satuan K dan tekanan uap jenuh (P^{sat}) dalam satuan Bar.

Tabel 5. Parameter Antoine MEP

Komponen	Parameter Antoine		
	A	B	C
Metanol	5.20277	1580.08	239.5
Ethanol	228.06	182.739	230.918
Propanol	4.99991	1512.94	205.807

Sumber: Prausnitz, 2001



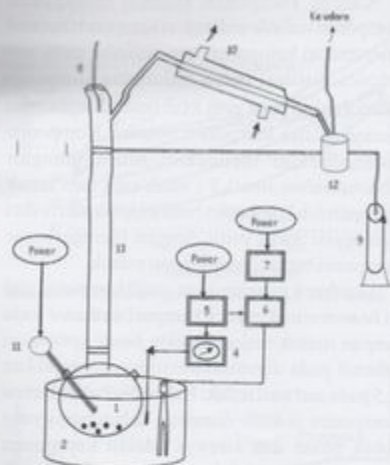
Gambar 1. Algoritma distilasi batch

Prosedur eksperimen sistem terner ABE menggunakan alat Distilasi Batch Sederhana, sebagai berikut:

1. Alat distilasi batch sederhana yang digunakan seperti Gambar 2.
2. Volume campuran ABE ditentukan 3500 ml dengan komposisi umpan ABE (fraksi mol) ditunjukkan pada Tabel 1.
3. Proses distilasi batch sederhana dioperasikan dalam keadaan total reflux.
4. Setelah suhu di bottom dengan suhu di distilat mendekati sama, diambil beberapa tetes volume di bottom setiap $x = 0,1, 2, 3$
5. Kemudian distilat dianalisa komposisi ABE dengan menggunakan Gas Kromatografi
6. Setelah volume di still-pot kurang lebih 10 %, maka proses distilasi batch sederhana dihentikan.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Profil temperatur di bottom menunjukkan hasil yang mendekati dengan temperatur di distilat,



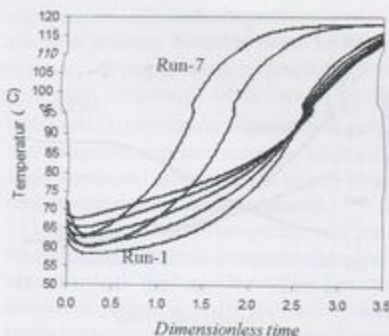
Gambar 2. Seperangkat alat distilasi batch sederhana
Keterangan Gambar :

1. Still Pot
2. Oil batch
3. Heater
4. Thermocouple
5. Controller
6. Kontaktor
7. Regulator
8. Thermometer
9. Gelas Ukur
10. Kondensor
11. Thermocouple RTD
12. Kolom Pemisah
13. Packed kolom

karena proses distilasi batch sederhana beroperasi dalam kondisi total refluks. Oleh karena itu profil temperatur hasil simulasi seperti Gambar 3 merupakan jumlah temperatur komponen-i setelah dilakukan normalisasi dikalikan komposisi liquida di *bottom* komponen-i.

Dari Gambar 3 menunjukkan profil temperatur ABE untuk Run-1 sampai Run-7 secara keseluruhan naik terhadap *dimensionless* waktu. Hal ini disebabkan karena komponen yang diuapkan dengan porsi yang lebih besar adalah komponen ethanol, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih besar untuk menguapkan komponen butanol yang belum diuapkan.

Dari Gambar 3 dibagi menjadi 3 daerah, untuk daerah 1 koefisien aktifitas butanol menunjukkan profil menurun dan koefisien aktifitas ethanol naik sehingga tidak berpengaruh terhadap profil temperatur. Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar komposisi butanol pada umpan masuk maka pengaruh koefisien aktifitas ethanol

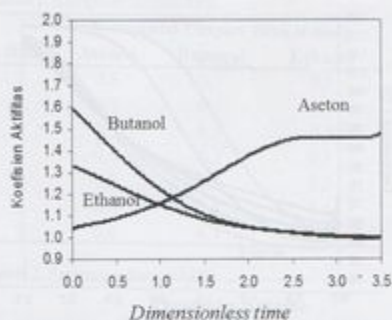


Gambar 3. Profil temperatur sistem ternar ABE untuk Run-1 sampai Run-7

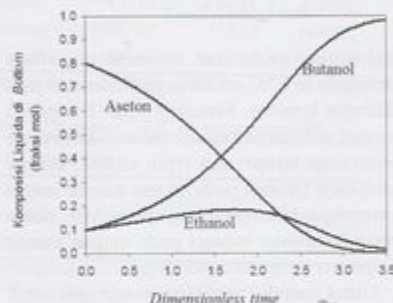
maksimum pada saat *dimensionless* time menunjukkan 1,75; setelah itu profil menurun pada akhirnya konstan. Semakin besar komposisi butanol pada umpan masuk menunjukkan slope penurunan temperatur lebih curam, karena komposisi butanol pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran ABE, makin besar komposisi butanol pada umpan masuk temperatur campuran makin tinggi.

Untuk daerah 2 profil temperatur naik untuk semua run, semakin besar komposisi ethanol pada umpan masuk menunjukkan slope kenaikan temperatur yang lebih landai. Hal ini disebabkan karena komposisi ethanol pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran ABE, makin besar komposisi ethanol pada umpan masuk temperatur campuran makin kecil.

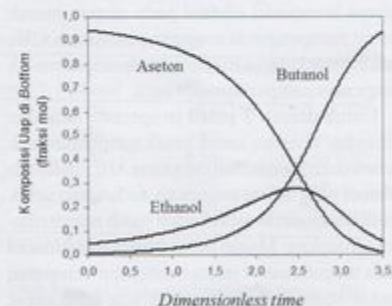
Untuk daerah 3 profil temperatur naik dan sebagian konstan, untuk profil temperatur naik berarti dalam pemisahan campuran ABE masih ada ethanol yang belum teruapkan, sedangkan untuk profil komposisi konstan berarti sudah semua ethanol teruapkan. Makin besar komposisi butanol pada umpan masuk maka temperatur campuran makin besar dan profil temperatur lebih cepat konstan. Untuk daerah *dimensionless* time 3,5 profil temperatur belum konstan, sehingga dibutuhkan *dimensionless* time yang lebih besar untuk memperoleh profil temperatur yang konstan. Jika distilasi batch sederhana diteruskan sampai *dimensionless* time yang sangat besar, maka akan diperoleh nilai komposisi masing-masing campuran negatif, hal seperti ini tidak dikehendaki.



Gambar 4. Profil koefisien aktifitas sistem ternar ABE



Gambar 5. Profil komposisi likuida di bottom sistem ternar ABE Run-1



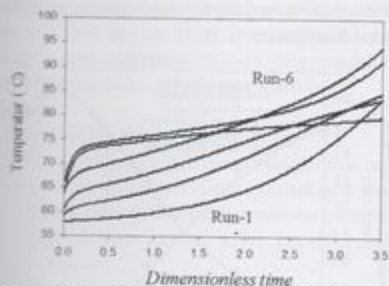
Gambar 6. Profil komposisi uap di bottom sistem ternar ABE Run-1

Dari Gambar 5 menunjukkan profil komposisi likuida di bottom, komposisi ethanol menunjukkan profil komposisi menurun dari komposisi awal dan komposisi air menunjukkan profil naik dari komposisi awal.

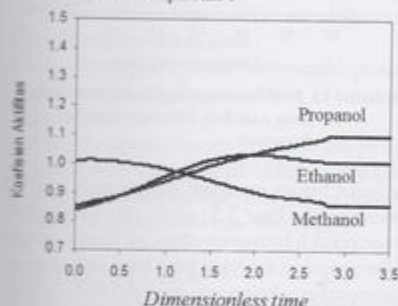
Karena komponen ethanol merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen butanol merupakan komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch sederhana komponen ethanol dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen butanol. Komponen butanol belum mendekati murni dengan *dimensionless time* 3,5; salah satu cara untuk memperoleh komponen butanol lebih murni dari komposisi awal yaitu dengan memperbesar komposisi butanol pada umpan masuk.

Gambar 6 menunjukkan profil komposisi uap di bottom semakin kecil komposisi ethanol pada umpan masuk maka semakin besar komposisi ethanol pada *dimensionless time* menunjukkan 2,5 pada saat total refluks. Hal ini disebabkan karena komponen *volatile* diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen *non-volatile*, setelah proses distilasi batch sederhana berlangsung maka komponen *non-volatile* yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen ethanol belum menguap semua pada saat *dimensionless time* 3,5; salah satu cara untuk memperoleh komponen ethanol di distilat dengan *dimensionless time* yang lebih kecil yaitu dengan memperbesar komposisi butanol pada umpan masuk. Profil komposisi uap di bottom semakin kecil komposisi ethanol pada umpan masuk maka semakin besar komposisi ethanol pada saat total refluks, hal ini disebabkan temperatur campuran tinggi sehingga komponen *non-volatile* lebih banyak menguap. Profil komposisi uap di bottom setelah total refluks untuk komposisi ethanol terus menurun, sedangkan komposisi butanol terus naik. Hal ini disebabkan karena komponen *volatile* diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen *non-volatile*, setelah proses distilasi batch berlangsung maka komponen *non-volatile* yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen ethanol semua teruapkan pada saat *dimensionless time* menunjukkan nilai 2,25; Run-7 membutuhkan *dimensionless time* yang lebih kecil untuk memperoleh komponen ethanol yang lebih murni dari komponen ethanol awal.

Profil temperatur di bottom menunjukkan hasil yang mendekati dengan temperatur di distilat, karena proses distilasi batch sederhana beroperasi



Gambar 7. Profil temperatur sistem temer MEP untuk Run-1 sampai Run-6



Gambar 8. Profil koefisien aktifitas sistem temer MEP dalam kondisi total refluks. Oleh karena itu profil temperatur hasil simulasi seperti Gambar 4.5 merupakan jumlah temperatur komponen-i setelah dilakukan normalisasi dikalikan komposisi liquida di *bottom* komponen-i. Dari Gambar 7 menunjukkan profil temperatur MEP untuk Run-1 sampai Run-6 secara keseluruhan naik terhadap *dimensionless time*. Hal ini disebabkan karena komponen yang diuapkan dengan porsi yang lebih besar adalah komponen metanol, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih besar untuk menguapkan komponen propanol yang belum diuapkan dilakukan penelitian oleh Sari, dkk. (2006).

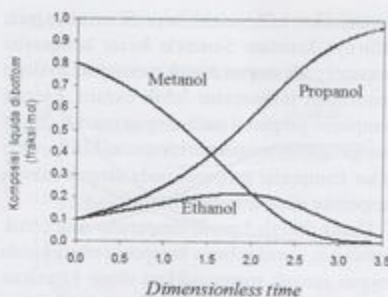
Dari Gambar 7 dibagi menjadi 3 daerah, untuk daerah 1 koefisien aktifitas air menunjukkan profil menurun dan koefisien aktifitas ethanol naik sehingga tidak berpengaruh terhadap profil temperatur. Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar komposisi air pada umpan masuk maka pengaruh koefisien aktifitas ethanol maksimum pada saat *dimensionless time*

menunjukkan 1,75; setelah itu profil menurun pada akhirnya konstan. Semakin besar komposisi propanol pada umpan masuk menunjukkan slope penurunan temperatur lebih curam, karena komposisi propanol pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran MEP, makin besar komposisi propanol pada umpan masuk temperatur campuran makin tinggi.

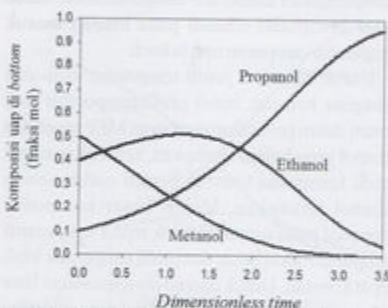
Untuk daerah 2 profil temperatur naik untuk semua run, semakin besar komposisi ethanol pada umpan masuk menunjukkan slope kenaikan temperatur yang lebih landai. Hal ini disebabkan karena komposisi etanol pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran MEP, makin besar komposisi ethanol pada umpan masuk temperatur campuran makin kecil.

Untuk daerah 3 profil temperatur naik dan sebagian konstan, untuk profil temperatur naik berarti dalam pemisahan campuran MEP masih ada ethanol yang belum teruapkan, sedangkan untuk profil komposisi konstan berarti sudah semua ethanol teruapkan. Makin besar komposisi propanol pada umpan masuk maka temperatur campuran makin besar dan profil temperatur lebih cepat konstan. Untuk daerah *dimensionless time* 3,5 profil temperatur belum konstan, sehingga dibutuhkan *dimensionless time* yang lebih besar untuk memperoleh profil temperatur yang konstan. Jika distilasi batch sederhana diteruskan sampai *dimensionless time* yang sangat besar, maka akan diperoleh nilai komposisi masing-masing campuran negatif, hal seperti ini tidak dikehendaki.

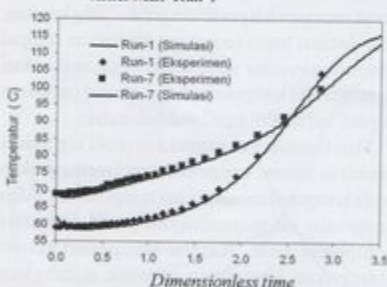
Dari Gambar 9 menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom*, komposisi etanol menunjukkan profil komposisi menurun dari komposisi awal dan komposisi air menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen etanol merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen air merupakan komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch sederhana komponen etanol dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen propanol. Komponen propanol belum mendekati murni dengan *dimensionless time* 3,5; salah satu cara untuk memperoleh komponen propanol lebih murni dari komposisi awal yaitu dengan memperbesar komposisi air pada umpan masuk.



Gambar 9. Profil komposisi likuida di bottom sistem ternern MEPRun-1



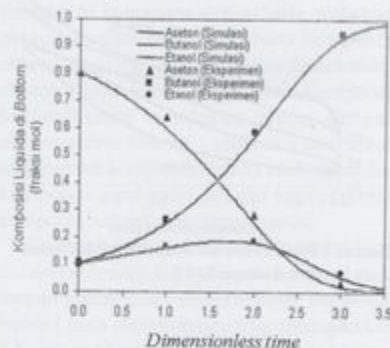
Gambar 10. Profil komposisi uap di bottom sistem ternern MEP Run-1



Gambar 11. Profil temperatur sistem ternern ABE untuk Run-1, Run-7 hasil simulasi dan eksperimen

Gambar 10 menunjukkan profil komposisi uap di bottom setelah total refluks untuk komposisi etanol terus menurun, sedangkan komposisi propanol terus naik. Hal ini disebabkan karena komponen *volatile* diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen *non-volatile*, setelah proses distilasi batch sederhana berlangsung maka komponen

non-volatile yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen



Gambar 12. Profil komposisi likuida di bottom sistem ternern ABE Run-1 hasil simulasi dan eksperimen.

etanol belum menguap semua pada saat *dimensionless time* 3,5; salah satu cara untuk memperoleh komponen etanol di distilat dengan *dimensionless time* yang lebih kecil yaitu dengan memperbesar komposisi propanol pada umpan masuk.

Profil komposisi uap di bottom semakin kecil komposisi etanol pada umpan masuk maka semakin besar komposisi etanol pada saat total refluks, hal ini disebabkan temperatur campuran tinggi sehingga komponen *non-volatile* lebih banyak menguap. Profil komposisi uap di bottom setelah total refluks untuk komposisi etanol terus menurun, sedangkan komposisi propanol terus naik. Hal ini disebabkan karena komponen *volatile* diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen *non-volatile*, setelah proses distilasi batch berlangsung maka komponen *non-volatile* yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen etanol semua teruapkan pada saat *dimensionless time* menunjukkan nilai 2,25; Run-7 membutuhkan *dimensionless time* yang lebih kecil untuk memperoleh komponen etanol yang lebih murni dari komponen etanol awal.

Profil komposisi likuida di bottom dan profil temperatur sistem ternern ABE secara simulasi dan eksperimen, untuk Run-1 menunjukkan profil yang mendekati sama. Untuk sistem biner sudah dilakukan penelitian oleh Sari, dkk. (2007), dimana

profil komposisi liquidadi di *bottom* dan profil temperatur sistem biner secara simulasi dan eksperimen menunjukkan hasil yang mendekati sama, dengan deviasi rata-rata 0,0063.

KESIMPULAN

1. Profil temperatur ABE secara keseluruhan naik terhadap *dimensionless time*, kecuali pada awal proses menunjukkan profil temperatur menurun, disebabkan karena sifat karakteristik campuran.
2. Profil komposisi liquidadi *bottom* (peta kurva residu) sistem terner ABE setelah divalidasi dengan sistem terner MEP menunjukkan profil yang mendekati sama.
3. Profil komposisi liquidadi *bottom* setelah proses distilasi batch menunjukkan campuran zeotropik
4. Profil komposisi liquidadi di *bottom* dan profil temperatur antara hasil simulasi dengan eksperimen menunjukkan profil yang mendekati sama, dengan deviasi rata-rata 0,0063

DAFTAR PUSTAKA

Doherty dan Perkins (1978), "Model Differential-Algebraic Equations (DAEs)", John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Renanto Handogo, dan Gede Wibawa, (1997), "Experiments and Correlations of Vapor-Liquid Equilibria of Acetone-1-Butanol-Ethanol Ternary Mixture", *International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion*, Yogyakarta, Indonesia, hal. 587-592.
- Henley, E. J. dan J. D. Seader (1998), "Separation Process Principles", hal. 586-712, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sari N. K., Kuswandi, Nonot Suwamo, Renanto Handogo, (2006), "Komparasi Peta Kurva Residu Sistem Terner ABE Dengan Metanol-Etanol-1-Propanol", *Jurnal REAKTOR, Jurusan Teknik Kimia UNDIP Semarang*, Vol. 13, No. 2.
- Sari N. K., Kuswandi, Nonot Suwamo, Renanto Handogo, (2007), "Pemisahan Sistem Biner Etanol-Air Dan Sistem Terner ABE Dengan Distilasi Batch Sederhana", *Jurnal INDUSTRI Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Industri ITS Surabaya*, Vol. 6, No. 5.
- Prausnitz, J. M., (2001), "The Properties of Gases and Liquids", ed. 5, hal. A.50 - A. 51, Mc. Graw-Hill, New York.
- Widagdo, S. dan Warren D. Seider, (1996), "Journal Review Azeotropic Distillation", *AIChE J.*, Vol. 42, No. 1, hal. 96-130.

Industri

Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi

**Densification of Palm Oil Kernel Shell and Jatropha Curcas Seeds
(Study on Effect of Briquetting Pressure and Modified Stove Model on Stove Efficiency)**

Mahidin, Asri Gani, Khairil, Hamdani, Subhan

Optimized Hydrolysis of Cassava Pulp Into Bio-Ethanol Production

Djuma'ali, Nonot Soewarno, Sumarno, Dyah Primarini, Wahono Sumaryono

The Kinetics of Glycerol Degradation using Multi Mode Microwave

Lailatul Qadaryah, A. Raditya BFS, Wingo WW, Donny SB, Pantjawarni P, Sumarno, Mahfud

**Penentuan Peta Kurva Residu Sistem Terneraseton-Butanol-Ethanol
dengan Simulasi dan Eksperimental**

Ni Ketut Sari, Ketut Sumada, Suwandli, Nonot Suwarno, Renanto Handogo

**Pembersihan Kerak pada Pipa Boiler secara Kimia
dengan menggunakan Asam Klorida dan Inhibitor Kalium Nitrat**

Sri Murwanti, Agung Subyakto

**The Ergonomic Cognitive Study in searching of Mnemonic Effects
in Japanese's Hiragana Learning**

Nilda Tri Putri, Abdul Aziz, Yuni Meuthia

**The Structural Differences in Tungsten Trioxide Nanomaterial Synthesized
using A Sol-Gel Method Followed by Calcination and Hydrothermal Treatment**

Diah Susanti, Stefanus Haryo N, Hasnan Nisfu, Eko Prasetyo N,
Hariyati Purwaningsih, George Endri K, Shao-Ju Shih

**Fast Response of Macroporous Thermosensitives Hema-Co-Nipaam Hydrogel Materials
for Controlled Drug Release of Anti-Inflammatory Drug**

Yuli Setiyorini, Sungging Pintowantoro

**Businnes Productivity Improvement of Broiler Plasma Through An Analysis
of Decisive Factors of Technoware Components**

SS Purnomo, E Gumbira Sa'id, AM Fuhah, Machfud

**A Study of using Local Wood as Alternative Subtitution of Poghut (Lignum Vitae)
in Axle Bearing Wear due to Propeller Activity**

Hariyanto Soeroso, Bambang Teguh Setiawan